DOI:10.11931/guihaia.gxzw201809004

高盆樱桃与钟花樱桃的地理分布模拟及生态特征比较分析

朱淑霞，朱弘，程琳，伊贤贵，王贤荣*

（南京林业大学南方现代林业协同创新中心，生物与环境学院，南京，210037）

摘要：以高盆樱桃（*Cerasus cerasoides*）及其近缘种钟花樱桃（*C.. campanulata*）为对象，研究两者生态位的差异。笔者通过收集其实际分布的地理坐标，运用 BIOCLIM 模型模拟现代适生区范围并预测其未来气候下（CCM3，2100）潜在分布区的变化。结合主成分分析和相关性分析确定其主导气候因子，并比较两者在气候限制因子方面的差异。利用受试者工作特征曲线（Receiver operation characteristic， ROC）评估模型预测效果。结果表明：（1）高盆樱桃和钟花樱桃主要分布于我国长江以南大部分省区，两者现代分布中心分布位于云贵高原，武夷山脉和南岭山脉。（2）未来气候变化情境下（CCM3），高盆樱桃和钟花樱桃的适生范围将缩小。二者在中国西南部（高盆樱桃）和东南部（钟花樱桃）的适生范围可能大幅减小，而钟花樱桃在湖南西部的适生区可能增加。（3）主成分（PCA）及相关性分析表明，年降水量（bio12）、最湿季降雨量（bio16）、最暖季降雨量（bio18）、温度季节变化方差（bio4）是影响高盆樱桃及钟花樱桃当下适生区的主要气候因子，“热量变异幅度”是造成二者分布存在差异的最主要环境因子。（4）钟花樱桃（0.816）和高盆樱桃（0.799）的 AUC 值均高于随机测试（0.500），说明 BIOCLIM 模型可以准确预测高盆樱桃及钟花樱桃的分布。本研究可为高盆樱桃和钟花樱桃资源保护、物种鉴定和谱系地理学的研究提供重要指导。

关键词：高盆樱桃，钟花樱桃，地理分布，气候限制因子，BIOCLIM 模型

Modeling geographical distribution pattern and comparison of ecological characteristics between *Cerasus cerasoides* and *C. campanulata*

ZHU Shuxia, ZHU Hong, Cheng Lin, YI Xiangui, WANG Xianrong*

(*Collaborative Innovation Center of the Southern Modern Forestry, College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University*, Nanjing 210037, China)

基金项目：江苏省林业三新工程项目（LYSX[2015]17）；江苏省林业科技创新与推广项目（LYKJ[2017]14）；江苏省现代农业项目（BE2017307）[Supported by the Three New Forestry Program of Jiangsu Province（LYSX[2015]17）; Forestry Technological Innovation and Promotion Program of Jiangsu Province（LYKJ[2017]14); Modern Agriculture Program of Jiangsu Province（BE2017307）]。

作者简介：朱淑霞(1994-)，女，浙江临海人，硕士研究生，研究方向为樱属种质资源收集及分类，E-mail:1114898179@qq.com。

***通信作者：**王贤荣，女，教授，博导，研究方向为植物分类学、植物资源学，E-mail: wangxianrong66@njfu.edu.cn。

Abstract: The ecological niche divergence between *Cerasus cerasoides* and its allied species *C. campanulata* was analyzed, and the changes of their potential distribution under climate change (CCM3) for 2100s were predicted. By collecting the geographical coordinates of its actual distribution, the BIOCLIM model was used to simulate the range of modern suitable areas and predict the change of their potential distribution under climate change (CCM3) for 2100s. The dominant climatic factors were determined by principal component analysis and correlation analysis. The differences between two species in climate limiting factors were analyzed. In addition, the receiver prediction effect was evaluated using the receiver operating characteristic (ROC).The results showed that: (1) The actual distributions of *C. cerasoides* and *C. campanulata* were covered most areas of the south of the Yangtze River in China. The contemporary distribution centers were located in the Yunnan-Guizhou Plateau, the Wuyi Mountain Range and the Nanling Mountains. (2) Under the future climate change situation (CCM3), the range of potential suitable areas of *C. cerasoides* and *C. campanulata* would decrease. The suitable habitat in southwestern (*C. cerasoides*) and southeastern China (*C. campanulata*) would be significantly reduced, while that of *C. campanulata* in western Hunan would increase. (3) Principal component analysis (PCA) and correlation analysis indicated that the annual precipitation (bio12), precipitation of the driest quarter (bio16), precipitation of the warmest quarter (bio18) and temperature seasonality (bio4) were the major factors influencing the geographical distribution of *C. cerasoides* and *C. campanulata*. “Radiator variability” is the most important environmental factor causing the difference in the distribution of two species. (4) Both of the AUC values of *C. campanulata* (0.816) and *C. cerasoides* (0.799) were higher than that of the random test (0.500), which indicated that the BIOCLIM model could accurately predict the distribution of *C. cerasoides* and *C. campanulata*. Our results will be an important guide for the study of conservation, identification and phytogeography of *C. cerasoides* and *C. campanulata*.

Key words: *Cerasus cerasoides*, *Cerasus campanulata*, Geographical distribution, Climatic limited factor, BIOCLIM model

高盆樱桃（*Cerasus cerasoides*）与钟花樱桃（*C. campanulata*）为樱属（*Cerasus*）中特有的具玫红花色的亚热带树种，且花期早、抗病虫害能力强。其优良的性状大大拓宽了观赏樱花的花期和花色。其中，高盆樱桃又名云南冬樱花，多生于沟谷密林中，海拔 1300～2200 m，是 Don David 于 1825 年发现的新种；钟花樱桃又名福建山樱花，多生于山谷林中及林缘，海拔 100～600 m，是 Maximowiczi 于 1883 年发表的新种（俞德浚&李朝銮，1984，1986）。然而，自两个物种发现以来，其分类地位一直存在较大争议，例如 1910 年，Koidzumi 将钟花樱桃作为高盆樱桃的变种，并将其命名为 *Prunus cerasoides* var. *campanulata*；王贤荣（1993）发表樱属植物分类订正，认为钟花樱桃应为高盆樱桃分布区偏东的变种；2003 年《中国植物志》英文版中将高盆樱桃和钟花樱桃定为两个种。尽管高盆樱桃沿海拔和纬度与钟花樱桃间存在着明显的生境分化，但决定其生态位分化的环境因子目前并不清楚，鉴别和分析两者的的地理分布格局、生态因子差异有助于阐明其表型差异以及物种形成的原因（Mallet，2005）。

植被是全球气候变化的敏感指示器，气候条件是决定植被物候、生产力、分布格局等特征及其动态变化的主要非生物因素（焦珂伟等，2018）。植物与气候间的相互关系以及地理分布格局的模拟和预测，是基础生态学和生物地理学研究的重要工具（Elith et al，2006）。随着计算机科学以及地理科学的不断发展，生态位模型在植物地理分布格局的模拟与预测方面得到了

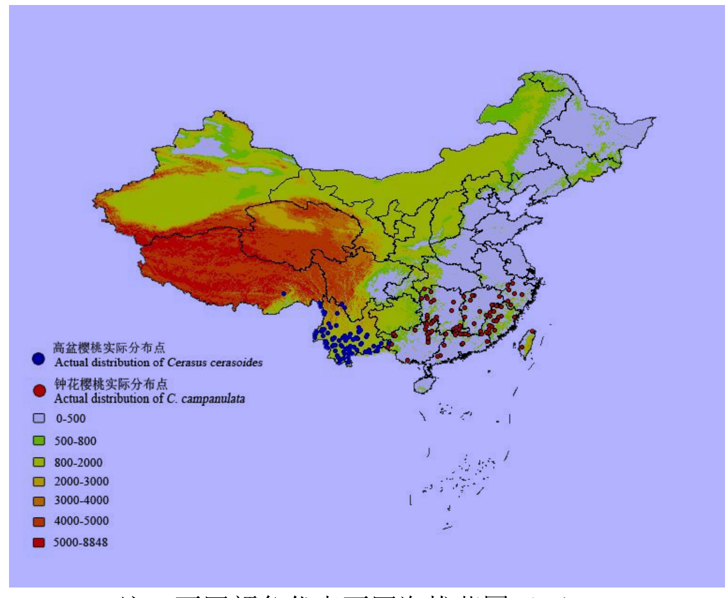
广泛的应用，常用的生态位模型有 MaxEnt、GARP、BIOCLIM 和 DOMAIN 等。不同的生态位模型由于其算法和原理不同，具有各自的优缺点（李雪梅等，2007；许仲林等，2015）。BIOCLIM 作为物种适生区预测的经典模型之一，已经在生物多样性保护（张蓝月等，2012；王刚等，2013；姜建福等，2014）、气候变化对物种分布的影响（李垚等，2014；刘芙蓉等，2017；邱靖等，2018）、外来入侵植物风险评估（迈迪娜·吐尔逊，2017）等方面取得了较好的研究效果。即使在较小的样本容量时，BIOCLIM 模型也能达到一个较为满意的预测结果（邵慧等，2009）。

BIOCLIM 模型预测主要基于 DIVA-GIS 软件，此软件操作简单，通用性强，结果直观（Hijmans et al，2001；谢春平，2011；朱弘等，2017）。此外，DIVA-GIS 网站免费提供一整套不同分辨率的全球气候数据资料，以及不同大气环流模型产生的气候数据包。基于 DIVA-GIS 可以快速获取实际地理分布点的气候数据并提取未来气候信息的预测值（田聪等，2015）。笔者通过 DIVA-GIS 软件获取高盆樱桃与钟花樱桃气候数据及其实际地理分布图，利用 BIOCLIM 模型预测当下及其未来的适生范围，并进行当下多度分析。通过比较两者在区域尺度下的气候响应规律，旨在明确两者的地理分布格局和生态特征方面的差异，以期为高盆樱桃及钟花樱桃物种鉴定、分子谱系地理学分析、野生资源的有效保护和合理利用提供重要的借鉴。

1. 材料和方法

1.1 物种分布数据收集及地理分布图绘制

（1）根据国家标本资源共享平台（http://www.nsii.org.cn/）、中国植物图像库（PPBC；http://www.plantphoto.cn/）、中国自然标本馆（CFH；http://www.cfh.ac.cn/）以及已发表的相关文献资料（陈剑英等，1999；吕月良，2006；苏倩，2007）获取分布点信息。删除错误及模糊记录，剔除培育和人工引种的标本记录，最终共获得 186 个精确分布点的信息。其中高盆樱桃 82 条记录，钟花樱桃 104 条记录。（2）利用百度拾取坐标系及 Google Earth 获取每个分布点的经纬度，录入到 Excel 2013，并转化为文本格式。（3）基于 DIVA-GIS（Version7.5）软件包（http://www.diva-gis.org），以中国省级行政区划矢量地图（下载自国家基础地理信息系统网站 http://nfgis.nsdi.gov.cn/）为底图，导入高盆樱桃及钟花樱桃地理分布数据，绘制实际地理分布图。



注：不同颜色代表不同海拔范围（m）。

Note: The colors represent the different ranges of the altitude (m).

图 1 高盆樱桃和钟花樱桃实际地理分布图
Fig.1 Actual geographic distribution of *Cerasus cerasoides* and *C. campanulata*

1.2 模型建立及气候数据分析

（1）DIVA-GIS 网站的全球气候数据资料来源于 WorldClim（http://www.worldclim.org/），当前和未来 CCM3 背景下 2100 年的气候数据分辨率均选用 2.5′，将其导入 DIVA-GIS 软件，获取实际有效分布点所对应的 19 个气候变量数据。（2）采用 DIVA-GIS 耦合的 BIOCLIM 模型，完成高盆樱桃与钟花樱桃当前及其未来适生区模拟分布预测及适生等级划分和当下多度分析。（3）首先，利用 PAST3（Version3.14）软件包（http://folk.uio.no/ohammer/past/）对所获取的气候变量数据进行主成分分析（Principal component analysis，PCA），通过研究不同气候因子在各分布点间的变异大小，选出方差贡献率较大的候选主要气候因子；随后，通过相关性分析，仅保留具有低相关性（r＞0.8）的气候变量作为为限制高盆樱桃和钟花樱桃当下地理分布的主要气候因子。此外，基于得到的主导气候因子绘制高盆樱桃和钟花樱桃的 PCA 分布图。并用 PAST3 绘制两者的频率分布直方图并进行正态曲线拟合，比较两者在气候限制因子方面的差异。

1.3 模型精度检验

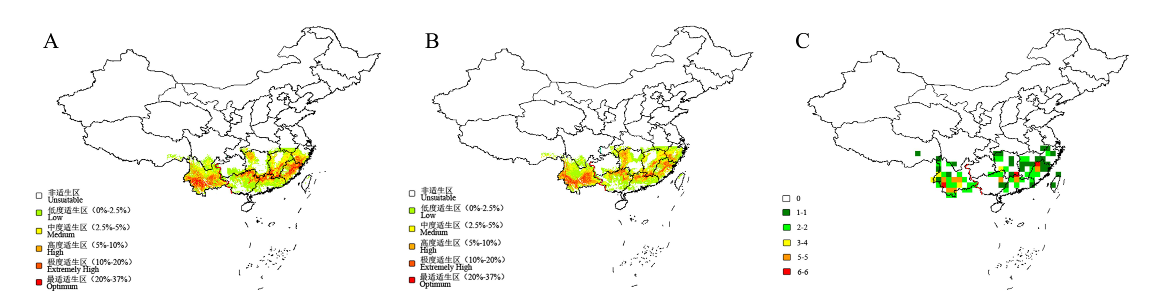
受试者工作特征曲线（Receiver operation characteristic， ROC）是模型性能评价常用的方法。ROC 曲线是以真阳性率（灵敏度）为纵坐标，假阳性率（1-特异度）为横坐标所形成的曲线。曲线下的面积即为 AUC（Areas under curve）值，AUC 值通过曲线上相邻 2 点以直线相连与横轴围成的各小梯形面积相加得到，即 AUC=$S_1+S_2+\ldots+S_n$。AUC 值越大表示与随机分布相距越远，环境变量与预测的物种地理分布模型之间相关性越大，即模型预测效果越好（崔麟&魏洪义，2016）。

2 结果和分析

2.1 地理分布格局

本研究将 BIOCLIM 模型潜在分布区预测的结果划分为：非适生区（0），低度适生区（0～2.5%），中度适生区（2.5%～5%），高度适生区（5%～10%），极度适生区（10%～20%）和最适生区（20%～37%）6 个等级。根据 Flora of China 的描述，高盆樱桃主要分布于西藏南部，云南西北部；钟花樱桃主要分布于福建、广东、广西、海南、湖南、台湾、浙江。实际分布点及预测结果显示（图 2A 和图 2B），高盆樱桃和钟花樱桃主要分布于亚热带地区，几乎覆盖长江以南各省区（图 2A）。高盆樱桃主要分布在北纬 21.58°～29.15°、东经 94.37°～105.83°的地区，除覆盖我国西藏东南部和云南大部分地区外，在四川南部也有分布。钟花樱桃的分布区为北纬 21.91°～30.32°、东经 105.78°～121.55°，除 Flora of China 记录的分布区外，江西也是其分布区，而在海南无分布点。此外，湖北西南部和东南部、贵州东南部、安徽南部为钟花樱桃的潜在分布区。多度分析被用于分布点的分级评估，以分布地点为参数，每个地点代表 1 个植物群落的存在，在 1°×1°的网格内统计的变种丰富度，综合当下适生区预测表明：高盆樱桃的现代分布中心位于云贵高原，钟花樱桃的现代分布中心位于武夷山脉和南岭山脉（图 2C）。

未来气候变化情景下，对比图 2A 和图 2B 可知：高盆樱桃及钟花樱桃的整体分布格局较为相似，而适生区概率颜色的由深到浅，预测了未来高盆樱桃及钟花樱桃的适宜面积缩小、生境破碎。在云南中部，高盆樱桃的适生范围将明显缩小。福建中部、浙江西南部、江西西南部和东南部、广东北部，钟花樱桃原有的适生范围可能大幅减小。然而在 CCM3 情境下，湖南西部可能新增较大面积的钟花樱桃适合区。



注：**A.** 高盆樱桃及钟花樱桃当下适生区及其适生等级；**B.** 高盆樱桃及钟花樱桃未来潜在分布区及其适生等级；**C.** 高盆樱桃及钟花樱桃当下多度分析。

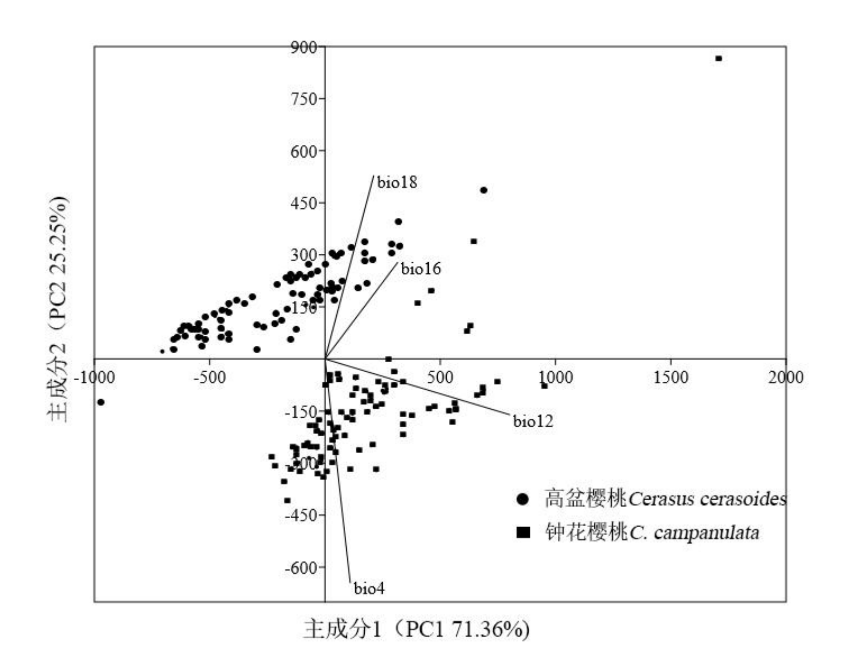
Note: **A.** Potential distribution range and the suitability under the current climate scenariol; **B.** Future potential spatial areas and suitable existent level; **C.** Current abudance analysis.

图 2 高盆樱桃和钟花樱桃地理分布格局与多度分析

Fig. 2 Geographical distribution pattern and suitability analysis of *Cerasus cerasoides* and *C. campanulata*

2.2 主导气候因子分析

因 19 个气候因子间可能存在一定相关性，现通过 PCA 和相关性分析，筛选出相关性较低且在各分布点间变异丰富的主导气候因子（刘然等，2018）。最终显示年降水量（bio12）、最湿季降雨量（bio16）、最暖季降雨量（bio18）、温度季节变化方差（bio4）是影响高盆樱桃及钟花樱桃当下适生区的主导气候限制因子，4 个主导气候因子在高盆樱桃（钟花樱桃）分布地点的波动范围分别是：660～2019（1 223～2 233）mm、380～1 173（578～1 119）mm、380～1173（446～1 119）mm 和 326～565（488～924）（标准差×100）。随后利用得到的 4 个主导气候因子进行的 PCA 结果显示，主成分 1 和 2（PC1 和 PC2）可解释 96.61%的变异。基于 PC1 和 PC2 对两物种各分布点进行分类分析（图 3），结果显示，高盆樱桃和钟花樱桃各分布点总体分为两类，一类主要包括高盆樱桃的分布点，另一类则主要包括钟花樱桃的分布点，表明两个物种现存分布范围的生境特点存在明显差异。对两者分布的限制环境因子的频率直方图进行比较分析及其正态分布进行拟合（图 4），结果表明高盆樱桃的最适年降雨量（bio12）范围为 900～1050 mm，钟花樱桃最适年降雨量（bio12）范围为 1 500～1 650 mm；最适合的最湿年降雨量（bio16）高盆樱桃为 800～900 mm，钟花樱桃为 700～800 mm；最适合的最暖季降雨量（bio18）高盆樱桃为 600～700 mm，钟花樱桃为 500～600 mm，最适合的温度季节变化方差（bio4）高盆樱桃为 390～420（标准差×100），钟花樱桃为 660～720（标准差×100）。反映了“水分因子”和“热量变异幅度”对两者的影响，“热量变异幅度”是高盆樱桃和钟花樱桃分布存在差异的最主要的环境因子（图 4）。

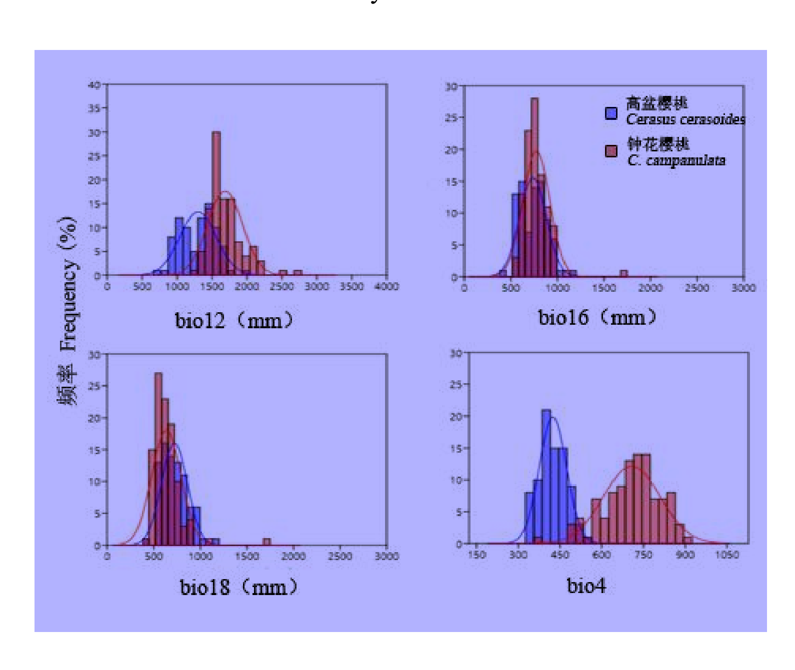


注：bio12. 年降水量；bio16. 最湿季降雨量；bio18. 最暖季降雨量；bio4. 温度季节变化方差。括号内为各因子的方差百分率。

Note: **bio12.** Annual precipitation; **bio16.** Precipitation in the wettest season; **bio18.** Precipitation in the warmest season; **bio4.** Variance of seasonal temperature change. The percentage of variance explained by each factors is indicated in parenthesis.

图 3 基于 PCA 所得因子 PC1 和 PC2 的高盆樱桃和钟花樱桃分布图

Fig.3 Distribution of *Creasus cerasoides* and *C. campanulata* between factors PC1 and PC2 calculated by PCA



注：bio12. 年降水量；bio16. 最湿季降雨量；bio18. 最暖季降雨量；bio4. 温度季节变化方差。

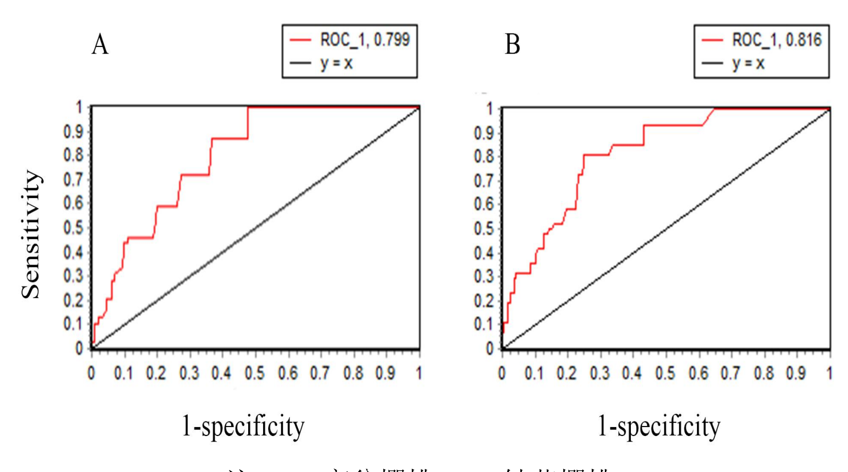
Note: **bio12.** Annual precipitation; **bio16.** Precipitation in the wettest season; **bio18.** Precipitation in the warmest season; **bio4.** Variance of seasonal temperature change.

图 4 高盆樱桃及钟花樱桃限制环境因子变量频率直方图

Fig. 4 Frequency histogram of the limiting environmental factors of *C. cerasoides* and *C. campanulata*

2.3 模型检验

从图 5 可以看出，ROC 曲线对高盆樱桃及钟花樱桃的预测结果均很好。高盆樱桃 AUC 的值达 0.799，钟花樱桃的 AUC 值高达 0.816，均显著高于随机测试 AUC（0.500），说明 BIOCLIM 模型的预测效果良好，可以准确预测高盆樱桃及钟花樱桃的分布。



注：**A.** 高盆樱桃；**B.** 钟花樱桃。

Note: **A.** *C. cerasoides*; **B.** *C. campanulata.*

图 5 基于 AUC 的高盆樱桃（AUC=0.799）和钟花樱桃（AUC=0.816）ROC 曲线检验

Fig. 5 ROC curve based on the AUC area of *C. cerasoides* (AUC=0.799) and *C. campanulata* (AUC=0.816)

3 讨论

3.1 生态因子差异比较及其物种鉴定

王贤荣（1993）根据观察大量高盆樱桃和钟花樱桃的标本发现，两者的主要区别仅在于萼片形状和开花习性的差别，而形态的差别可能与局部的小气候和海拔有关。如陈璋（2008）通过研究钟花樱桃的表型多样性发现：花表型性状与经纬度、海拔、年降雨量呈显著或极显著相关；开花习性与年日照时数显著相关。李蒙等（2014）通过研究山樱花地理分布与气候条件因子的关系时发现，山樱花的分布受温度影响较大。本研究主导气候因子分析结果表明，高盆樱桃与钟花樱桃的平均温度季节变化方差（bio4）相差 285（标准差×100），是两者分布存在差异的最主要的环境因子。高盆樱桃位于 105° E 以西的寒冷干燥的中国-喜马拉雅亚区，主要受印度季风影响；钟花樱桃位于 105° E 以东的温暖湿润的中国-日本亚区，主要受太平洋季风影响。自西向东具有海拔的梯度性和不同的季风环境，不同区域间的异质环境很有可能形成植物的适应性分化（叶俊伟等，2017a）。因此，推测两者的形态差别（如萼片性状、开花习性等）极有可能是由两地的温度差异造成的。

王文采（1992a，1992b）认为中国亚热带地区植物可能起源于西南地区，然后向东扩散，扩散的路线即为北部的秦岭-大巴山脉、中部的大娄山-武陵山山脉和南部的南岭山脉。但是这个假说只得到较少的验证。李苗苗（2009）根据单倍型的地理分布，推测樱亚属的分布中心在第四纪冰川来临之前已经形成，并且还经历了云贵高原-华中山地-华东江南丘陵的迁移。高盆樱桃和钟花樱桃的现代分布中心云贵高原、武夷山脉和南岭是冰期时重要的南方避难所。在冰期和间冰期时，持续的长期隔离使植物保持了较高的种群间遗传多样性和遗传分化（叶俊伟等，2017b）。本研究揭示出两个物种分布点环境因子存在较大差异，且自然分布范围存在明显区别，推测二者在进化过程中由于气候等因素产生了明显分化。但高盆樱桃和钟花樱桃是不是一个物种，还是种下的变种？他们具体的迁移路线是否符合以上假说？钟花樱桃是高盆樱桃向东迁移之后，为适应当地的气候条件而形成的物种分化吗？为解释以上问题，后续可结合化石、孢粉、亲缘地理学等领域的研究结果。

3.2 保护与利用建议

高盆樱桃与钟花樱桃作为典型的亚热带树种，在秦岭-淮河以北表现很差，不开花或者晚花。仅个别经改良后的钟花樱桃品种如阳光 *C.* 'Youkou'和河津樱 *C.* × *kanzakura* 'Kawazu-zakura'等表现良好。国产樱花种类繁多，但大部分处于未开发的状态，品种培育技术远远落后于日本。具记载，目前市场上所应用的钟花樱桃种系下的品种有 13 种之多，但基本是日本学者所培育（王贤荣，2014；王青华等，2014）。虽然日本的琉球半岛有记载钟花樱桃的野生分布，但极有可能是台湾引种逸化的。高盆樱桃的品种在云南有所记载，但基本是野生种自然变异所选育的，而且仅限于西南地区推广使用。高盆樱桃及钟花樱桃多生长在林缘或受到较大干扰的次生林中，野生资源破坏严重（段晓梅等，2004；王贤荣等，2006）。因此，对高盆樱桃和钟花樱桃的资源保护与品种合理开发利用提出如下建议：（1）通过天然选优、人工杂交、化学诱变等手段加大新品种选育规模，培育出更具观赏价值和国人代表性的樱花新品种。（2）受全球气候变暖的影响，分布区处于南缘的几个省份的潜在分布区面积将会缩小，而在更高纬度的湖南西部会新增分布区，总体反映了分布区北扩的趋势。表明高浓度的温室气体排放将严重影响高盆樱桃及钟花樱桃的生境，造成生境破碎化、生物多样性降低等一系列严重后果。因此，为保护两者的生境面积，社会各界应采取植树造林、节能减排、开发新能源等有效措施严格控制温室气体排放。（3）为加强对高盆樱桃及钟花樱桃现有资源的保护力度，应将福建中部、浙江西南部、江西西南部和东南部、广东北部等地的保护区作为两者的重点保护单元，并将其潜在分布区纳入到新的保护工作中。通过移栽、嫁接等手段促进物种的再分布。

参考文献

CHEN JY, DONG Q, YANG CB, 1999. A study on ecogeography of *Cerasus Cerasoides*[J]. J SW For Coll, 19(1): 2-8. [陈剑英，董琼，杨超本. 冬樱花生态地理学研究[J]. 西南林学院学报，19(1)：2-8.]

CUI L WEI HY, 2016. Predicting the geographical distribution of *Urochela distincta* Distant with MaxEnt and DIVA-GIS[J]. J Plant Prot, 43(3): 362-368. [崔麟，魏洪义，2016. 基于 MaxEnt 和 DIVA-GIS 的亮壮异蝽潜在地理分布预测[J]. 植物保护学报，43(3)：362-368.]

Elith J,Graham CH,Anderson RP et al, 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data[J]. Ecography, 29(2): 129-151.

Flora of China Editorial Committee, 2003. Flora of China (9) [M]. Beijing: Science Press; St. Louis: Missouri Botanical Garden Press.

HACK JJ, KIEHL JT, HURRELL JW, 1998. The hydrologic and thermodynamic characteristics of the NCAR CCM3[J]. J Climate, 1998, 11(6): 1179-1206.

HIJMANS RJ, GUARINO L, CRUZ M, et al, 2001. Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data: 1. DIVA-GIS[J]. Plant Genet Resour Newslett, 127: 15-19.

JIAO KW, GAO JB, WU SH, et al, 2018. Research progress on the response processes of vegetation activity to climate change[J]. Acta Ecol Sin, 38 (6): 2229-2238. [焦珂伟，高江波，吴绍洪，等，2018. 植被活动对气候变化的响应过程研究进展[J]. 生态学报，38(6)：2229-2238.]

JIANG JF, FAN XC, ZHANG Y, et al, 2014.Modeling the geographic distribution of three endangered *Vitis* species in China[J]. Chin J Ecol, 33(6): 1615-1622. [姜建福，樊秀彩，张颖，等，2014. 中国三种濒危葡萄属(*Vitis* L.)植物的地理分布模拟[J]. 生态学杂志，33(6)：1615-1622.]

LI M, YI XG, WANG HC, et al, 2014. Studies on the relationship between *Cerasus serrulata* distribution region and the environmental factors [J]. J Nanjing For Univ (Nat Sci Ed), 38(S): 74-80. [李蒙，伊贤贵，王华辰等，2014. 山樱花地理分布与水热环境因子的关系[J]. 南京林业大学学报(自然科学版)，38(S)：74－80.]

LI MM, 2009. Phylogeography of *Prunus* subgenus *Cerasus* and genetic diversity of *P. pseudocerasus* [D]. Xian: Northwest University: 1-57. [李苗苗，樱亚属植物分子亲缘地理及中国樱桃自然居群遗传多样性研究[D]. 西安：西北大学硕士论文：1-57.]

LI XM, CHENG XQ, 2007. Development of niche theory and its application in each fields of ecology[J]. J Beijing For Univ, 29(s2): 294-298. [李雪梅，程小琴，2007. 生态位理论的发展及其在生态学各领域中的应用[J]. 北京林业大学学报，2007，29(增刊 2)：294-298.]

LIU FR, LUO JX, YANG MJ, 2017. Potential geographic distribution areas of *Toona sinensis* and their climatic characteristics in Southwest China regions[J]. Sichuan For Sci Technol, 38(1):16-21. [刘芙蓉，罗建勋，杨马进，2017. 西南地区香椿的潜在地理分布区及其气候特点[J]. 四川林业科技，38(1)：16-21.]

LIU R, WANG CJ, HE J et al, 2018. Analysis of geographical distribution of *Abies* in China under climate change[J]. Bull Bot Res, 38(1): 37-46. [刘然，王春晶，何健等，2018. 气候变化背景下中国冷杉属植物地理分布模拟分析[J]. 植物研究，38(1)：37-46.]

LV YL, 2006. Genetic diversity and breeding strategy of *Cerasus campanulata* maxim[D]. Nanjing: Nanjing Forest University: 1-119. [吕月良，2006. 福建山樱花群体遗传多样性、繁育技术体系和育种策略研究[D]. 南京：南京林业大学：1-119.]

Mallet J, 2005. Hybridization as an invasion of the genome[J]. Trends Ecol Evol, 20(5): 229-237.

QIU J,ZHU H, CHEN X, et al, 2018. Modeling the suitable areas and ecological characteristics of Sorbus alnifolia using DIVA-GIS software[J]. J Beijing For Univ, 40(9): 25-32. [邱靖，朱弘，陈昕，等，2018. 基于 DIVA-GIS 的水榆花楸适生区模拟及生态特征[J]. 北京林业大学学报，40(9)：25--32.]

SHAO H, TIAN JQ, GUO K, et al, 2009. Effects of sample size and species traits on performance of BIOCLIM in predicting geographical distribution of tree species: A case study with 12 deciduous *Quercus* species indigenous to China [J]. Chin J Plant Ecol, 33(5): 870-877. [邵慧，田佳倩，郭柯，等，2009. 样本容量和物种特征对BIOCLIM模型模拟物种分布准确度的影响——以12个中国特有落叶栎树种为例[J]. 植物生态学报，33(5)：870－877.]

SU Q, 2007. Genetic diversity among populations of *Cerasus campanulata* [D]. Nanjing: Nanjing Forest University: 1-65. [苏倩，2007. 福建山樱花种源遗传多样性研究[D]. 南京：南京林业大学：1-65.]

TIAN C, MU NR, ZHU ZY, et al, 2015. Method for the rapid obtaining of climate data based on DIVA-GIS[J]. J Agr, 5(05): 109-113. [田聪，穆尼热，朱忠艳，等, 2015. 基于 DIVA-GIS 快速获取气候信息的方法[J]. 农学学报，5(5)：109-113.]

WANG G, MENG YQ, SUN J, et al, 2013. Modeling the geographic distribution of *Rhododendron maculiferum*[J]. J NW Agric Forest Univ (Nat Sci Ed), 41(05): 173-177. [王刚，孟艳琼，孙婧，等，2013. 麻花杜鹃的地理分布模拟[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版)，41(5)：173 - 177.]

WANG QH, LIU XH, XU L, 2014. The illustration of main cherry cultivars in China[M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press. [王青华，柳新红，徐梁，2014. 中国主要栽培樱花品种图鉴[M]. 杭州：浙江科学技术出版社]

WANG WC, 1992a. On some distribution patterns and some migration routes found in the eastern Asiatic region. J Syst Evol, 30, 1-24. [王文采，1992a. 东亚植物区系的一些分布式样和迁移路线[J]. 植物分类学报，30（1），1 - 24.]

WANG WC, 1992b. On some distribution patterns and some migration routes found in the eastern Asiatic region (Cont.)[J]. J Syst Evol, 30, 97–117. [王文采，1992b. 东亚植物区系的一些分布式样和迁移路线(续)[J]. 植物分类学报，30（2），97 - 117.]

WANG XR, 2014. An illustrated monograph of cherry cultivars in China [M]. Beijing: Science Press. [王贤荣，2014. 中国樱花品种图志[M]. 北京：科学出版社]

WANG XR, XIANG QB. 1998.. Notes on some species of the genus *Cerasus* MIQ[J]. J Nanjing For Univ, 22(4):62-64. [王贤荣，向其柏. 1998. 樱属植物分类订正[J]. 南京林业大学学报. 22(4)，62-64.]

XIE CC. 2011. Simple biogeography distribution picture draw based on DIVA-GIS[J]. Hubei Agric Sci, 50(11): 2345-2348.[谢春平，2011. 基于 DIVA-GIS 生物地理分布图的绘制[J]. 湖北农业科学，50(11)：2345-2348.]

Xu ZL, Peng HH, Peng SZ. 2015. The development and evaluation of species distribution models[J]. Acta Ecol Sin, 35(2): 557-567. [许仲林，彭焕华，彭守璋. 物种分布模型的发展及评价方法. 生态学报，2015，35(2)：557-567.]

YE JW, ZHANG Y, Wang XJ, 2017. Phylogeographic breaks and the mechanisms of their formation in the Sino-Japanese floristic region[J]. Chin J Plant Ecol, 41(9): 1003-1019. [叶俊伟，张阳，王晓娟，2017. 中国亚热带地阔叶林植物的谱系地理历史[J]. 植物生态学报，41(9)：1003-1019.]

YE JW, ZHANG Y, Wang XJ, 2017. Phylogeographic history of broad-leaved forest plants in subtropical China[J]. Acta Ecol Sin, 37(17): 5894-590. [叶俊伟，张阳，王晓娟，2017. 中国亚热带地区阔叶林植物的谱系地理历史[J]. 生态学报，37(17)：5894-5904.]

YU DJ, LI CL, 1984. Taxa nova Rosacearum sinicarum(V) [J]. J Syst Evol, 23(3):210. [俞德浚，李朝銮. 中国蔷薇科植物分类之研究（五）[J]. 植物分类学报，1984，23(3)：210.]

YU DJ, LI CL, 1986. Flora of China(38). Beijing: Science Press: 46-89. [俞德浚，李朝銮. 中国植物志（38）. 北京:科学出版：46-89.]

ZHANG LY, YE XB, LIU N, et al. 2012. Research on geographic distribution and potential distribution of Mucuna birdwoodiana [J]. Guihaia, 32(1): 27-32.［张蓝月，叶向斌，刘念，等，2012. 白花油麻藤的地理分布及适生区预测[J].广西植物，2012，32(1)：27-32.］
ZHU H, YOU LX, LI YF, et al, 2017, Modeling the geographical distribution pattern and climatic limited factors of *Cerasus schneideriana*[J]. J Trop Subtrop Bot, 25(04): 315-322.［朱弘，尤禄祥，李涌福，等.浙闽樱桃地理分布模拟及气候限制因子分析[J].热带亚热带植物学报.2017，25(04)：315-322.］